Lane Medical Library

Muskelkraft und Gaswechsel.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

vorgelegt der

hohen medicinischen Facultät der Universität Bern

von

Louis Schnyder,
Arzt aus Neuenstadt.

Mit 2 Figuren.

München 1896.
Druck von R. Oldenbourg.

Muskelkraft und Gaswechsel.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

vorgelegt der

hohen medicinischen Facultät der Universität Bern

von

Louis Schnyder,
Arzt aus Neuenstadt.

Mit 2 Figuren.

München 1896.
Druck von R. Oldenbourg.

Auf Antrag des Herrn Professor Dr. H. Kronecker von der medicinischen Facultät zum Drucke genehmigt.

Bern, den 3. Juni 1896.

Der Decan:

Prof. Dr. Sahli.

Muskelkraft und Gaswechsel.

Von

Louis Schnyder

aus Neuenstadt.[1])

(Aus dem physiologischen Institute der Universität Bern.)

Die Gleichung der bei der Muskelarbeit umgewandelten Energieformen ist nicht gelöst, obwohl die exacten Untersuchungen von A. Fick und B. Danilewski[2]) werthvolle Aufschlüsse gegeben haben.

C. Ludwig und seine Schüler suchten die Beziehungen zwischen Muskelarbeit und Gaswechsel im ein- und ausströmenden Blute. »Es gibt (nach Sczelkow) der contrahirte Muskel für dasselbe Volum verbrauchten Sauerstoffs viel mehr Kohlensäure aus, als der ruhende Muskel«[3]) C. Ludwig und Alex. Schmidt[4]) fanden später am künstlich durchströmten überlebenden Muskel, dass der respiratorische Quotient $\frac{CO_2}{O}$ durch die Muskelthätigkeit nicht vergrössert wird. Minot[5]) schloss aus

1) Der erste Theil dieser Abhandlung ist von Hrn. Dr. Cushny, jetzt Professor der Pharmakologie in Ann Arbor, ausgearbeitet worden, der nicht Zeit fand, die Untersuchungen abzuschliessen. Ich danke ihm verbindlich.

2) B. Danilewski, Versuche, die Giltigkeit des Princips der Energie bei der Muskelarbeit experimentell zu beweisen. Wiesbaden 1889.

3) C. Ludwig, Zusammenstellung der Untersuchungen über Blutgase aus der physiol. Anst. der Josephs-Akademie. Wiener medic. Jahrb. 1865.

4) Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. Math. phys. Classe 1868, S. 66.

5) Arbeit aus der phys. Anst. zu Leipzig 1876, S. 24.

den Ergebnissen seiner Serumtransfusionen, »dass die Kohlensäure nicht zu den Zersetzungsproducten gehört, welche sich im Muskel während seiner Zuckung oder seines Tetanus bilden.« Max v. Frey [1]) liess in noch überlebenden Hundemuskeln nach neuer Methode in vollkommenerer Weise Blut circuliren und fand Folgendes: »In der Periode der Thätigkeit wächst die Menge der gebildeten Kohlensäure und die Zunahme (10—46 %) lässt sich ähnlich der des Sauerstoffs auch noch in die anschliessende Ruhezeit verfolgen.«

Chauveau u. Kaufmann[2]) fanden, dass der beim Fressen normal thätige Hebemuskel der Oberlippe des lebenden Pferdes von dem ihn durchströmenden Blute 21mal mehr O nimmt als der ruhende. Noch mehr O scheidet der Muskel in der CO_2 aus, die er dem Blute gibt. Es ist sehr bemerkenswerth, dass dieselben Autoren Kreislauf und Athmung des leer (mit durchschnittener Sehne) sich bewegenden Hebemuskels ebenso vermehrt fanden, wie diejenige des arbeitenden Muskels.

Längst bekannt ist, dass der Gaswechsel der unversehrten Menschen und Thiere mit der Muskelthätigkeit bedeutend steigt.

Schon Lavoisier[3]) hat an seinem Mitarbeiter Séguin die Beobachtung gemacht, dass dieser bei Hebung eines Gewichts von etwa 7 kg auf 200 m während 15 Minuten 2½ mal mehr O verbrauchte als in der Ruhe.

Prout[4]) fand das Verhältniss der CO_2-Ausscheidung in der Ruhe zu derjenigen während eines Spazierganges $= \frac{23}{26}$; aber bei anstrengender Gehbewegung fand er im Verhältniss zur Ruhe den Gaswechselquotienten $= \frac{41}{32}$.

Valentin, Hirn und Vierordt machten ähnliche Beobachtungen.

---

1) Du Bois-Reymond's Archiv 1885, S. 556.

2) Chauveau, Le Travail musculaire etc. Comptes rendus de l'Académie française. 16. Mai u. 20. Juni 1887, S. 276 u. 293.

3) Mémoires de l'Académie des Sciences 1789, S. 575.

4) Ann. of Philos. 1813, Vol. II S. 335.

Newport[1]) sah eine gejagte Hummel in einer Stunde mehr CO_2 ausscheiden, als in der Ruhe während eines ganzen Tages. Lassaigne[2]) fand bei Pferden im schnellen Laufe die CO_2-Ausscheidung verdoppelt, manchmal aber auch, zumal bei arabischen Pferden, nicht vermehrt.

Edward Smith[3]) beobachtete bei seiner Versuchsperson, während dieselbe schlief, eine mittlere CO_2-Ausscheidung von 160 ccm pro 1 Minute, bei ruhigem Gehen etwa 3mal so viel, beim schnellen Laufen etwa den 5fachen Betrag des Ruhewerthes, beim Steigen in der Tretmühle etwa den 9fachen (1582 ccm). Auch die Athemgrösse stieg bei starker Muskelthätigkeit um das Siebenfache.

C. Voit und Pettenkofer[4]) erhielten von einem Manne, während er sich 12 Stunden im Respirationsapparate aufhielt und 9 Stunden darin stark arbeitete, bei mittlerer Kost 1,6mal mehr CO_2 als in der Ruhe und bei Hunger 2,3mal mehr als in der Ruhe.

C. Speck[5]) hat schon 1866 den Einfluss der Muskelthätigkeit auf die Athmung zu studiren begonnen. Er fand in seinen kurz dauernden (3 — 6,5 Minuten) Versuchen u. a., dass 1 kgm Arbeit die Athmungsgrösse um 50 ccm steigert, die Co_2-Ausscheidung um 2,7 ccm, die O-Aufnahme um 2,8 ccm. Mit der Leistung wächst der respiratorische Quotient. Er gibt auch an, dass langsames Senken von Gewichten den Effect der Hebarbeit verdopple.

Hanriot und Richet[6]) erhielten nach einem sinnreichen Verfahren ähnliche Resultate wie Speck.

Es ist nun in neuerer und jüngster Zeit, unter Leitung von N. Zuntz eine Reihe von Arbeiten über die Einwirkung der Muskelthätigkeit auf den Stoffverbrauch ausgeführt worden. Die

1) Phil. transact. 1836, S. 554.

2) Journ. de Chim. méd. 1849.

3) Phil. Transactions 1859 u. Journ. de la physiol. de l'homme et des animaux 1860, S. 518.

4) Zeitschr. f. Biol. Bd. 2 S. 538.

5) Physiologie des menschlichen Athmens 1892, S. 56 u. ff.

6) Comptes rendus de l'Acad. franç. S. 104 u. 105.

erste dieser Arbeiten hat Zuntz mit Lehmann und Hagemann ausgeführt und 1889[1]) veröffentlicht. Daraus ergab sich, dass bei arbeitenden Pferden der Gaswechsel beträchtlich gesteigert wird, aber »das Verhältniss der O-Aufnahme zur CO_2-Ausscheidung während der Arbeit unverändert bleibt.«

George Katzenstein[2]) wies sodann unter Zuntz's Leitung in einer inhaltreichen Untersuchung die bei Pferden gefundene Constanz des respiratorischen Quotienten auch bei den meisten seiner an Menschen angestellten Versuchen nach. Ausser diesem in seinem Satz III formulirten Resultate vermochte er aus seinen Experimenten folgende Schlüsse zu ziehen:

1. Die mit den Armen durch Raddrehen geleistete Arbeit (vermittelst Gärtner's Ergostat) erfordert einen höheren Gaswechsel als die durch Gehen und Steigen geleistete.

2. Der Sauerstoffverbrauch für die Einheit nutzbarer Arbeit ist für geringere Arbeit etwas grösser als für stärkere.

3. Nur in den unmittelbar der Arbeit nachfolgenden Minuten steigt der respiratorische Quotient stärker und überschreitet dann mitunter die Einheit.

4. Der Sauerstoffverbrauch für den horizontalen Gang beträgt pro Kilo Körpergewicht und Minute in maximo 0,1682 ccm, in minimo 0,0858 ccm.

5. Der Sauerstoffverbrauch per Kilogrammmeter mechanischer Arbeit beträgt, wenn diese geleistet wird:

   a) durch Steigen in maximo 1,5036 ccm, in minimo 1,1871 ccm,

   b) durch Dreharbeit im Mittel 1,957 ccm.

Die mechanische Arbeit beim Steigen wird vom Pferde mit fast genau gleichem Stoffverbrauch bestritten wie vom Menschen. Die horizontale Bewegung leistet das Pferd unstreitig mit geringerer Anstrengung. Zuntz[3]) bemerkt in seinem Berichte über obige Arbeit, »dass die Steigerung des respiratorischen Quotienten

1) Landwirthsch. Jahrbücher 1889.

2) Pflüger's Archiv 1891, Bd. 49 S. 330.

3) Verhandl. d. Berl. physiol. Ges. Sitzung 7. März 1890. Du Bois-Reymond's Archiv 1890.

nicht nothwendig in der Natur der Muskelthätigkeit begründet ist, vielmehr von gewissen Nebenumständen abhängt, welche verhindern, dass die Sauerstoffaufnahme mit der Abspaltung der Kohlensäure gleichen Schritt hält. Zum Theil beruht die relative Steigerung der Kohlensäureausscheidung auf der durch die Muskelarbeit herbeigeführten Aenderung der Athemmechanik. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass bei Untersuchung vollkommen trainirter Menschen der Unterschied zwischen Mensch und Pferd ganz verschwindet.«

A. Löwy[1]) hat »die Wirkung ermüdender Muskelarbeit auf den respiratorischen Stoffwechsel« gleichfalls unter Leitung von Zuntz untersucht. Er gelangte zu folgenden Schlüssen:

1. Während der Muskelarbeit laufen die Verbrennungsprocesse im Organismus in gleicher Weise wie in der Ruhe ab, — was das Gleichbleiben des respiratorischen Quotienten beweist — solange nicht aus irgend welchen Gründen der für die Arbeitsleistung nothwendige Sauerstoff in unzureichendem Maasse den arbeitenden Muskeln zugeführt wird. Dann ergeben sich Aenderungen im Stoffzerfall, die ihren Ausdruck in einem Aufsteigen des respiratorischen Quotienten finden.

2. Da der Stoffverbrauch nicht direct von der äusseren Arbeit, sondern von der Grösse der dafür aufgewendeten Muskelthätigkeit abhängig ist, so gibt es keine bestimmte Grösse des Stoffverbrauchs, die unter allen Umständen einer bestimmten Arbeitsgrösse entspräche. — Unter günstigen äusseren Verhältnissen und bei leistungsfähigen Muskeln wird die Arbeit möglichst ökonomisch geleistet; unter ungünstigen Verhältnissen und bei eintretender Ermüdung nimmt der Stoffverbrauch zu und zwar in beiden Fällen vorzugsweise dadurch, dass jetzt mehr und ungeeignetere Muskeln zur Arbeit herangezogen und so mehr Muskelthätigkeit für dieselbe Arbeit verbraucht wird als zuvor.

3. Nach Beendigung jeder Arbeit bleiben die Stoffwechselvorgänge noch wenige Minuten hindurch erhöht, doch beträgt der Mehrzerfall in der ganzen der Arbeit folgenden Ruheperiode

1) Pflüger's Archiv 1891, Bd. 49 S. 405.

kaum so viel wie der Verbrauch einer Arbeitsminute. Nur wenn starke Muskelermüdung bestand oder die Arbeit unter ungenügender Sauerstoffzufuhr geleistet wurde, können die Zersetzungsprocesse über längere Zeiten erhöht bleiben. Das wechselnde Verhältniss des respiratorischen Quotienten in der Nachwirkungsperiode beruht auf physiologischen Bedingungen.

Max Gruber[1]) (aus Willburgstetten) hat im physiologischen Institut zu Bern schon 1888 den Nachweis geführt, dass durch die Uebung die Kohlensäureausscheidung des arbeitenden Menschen vermindert wird. Durch die oben angeführten Arbeiten ist der Beweis erbracht worden, dass das Verhältniss der ausgeschiedenen Kohlensäure zum aufgenommenen Sauerstoff bei der Muskelarbeit das gleiche bleibt, wie bei der Ruhe, nur bei unzureichender Sauerstoffzufuhr sich ändert. Daher darf die ausgeathmete Kohlensäure als Maass des Gaswechsels gelten.

Zuntz u. Lehmann[2]) haben wiederum betont, dass man, auch, ohne gleichzeitig die Stickstoffausscheidung zu kennen, in dem durch die Kohlensäureausscheidung controlirten Sauerstoffverbrauch ein ziemlich genaues Maass des gesammten Stoffwechsels und der Kraftproduction habe. »Bezüglich der Gewöhnung an das Gepäck (Trainirung) liess sich beobachten, dass leichtes Gepäck (bis 22 kg) schon nach wenigen Märschen bei allmählicher Steigerung der Anforderungen nicht mehr nachtheilig wirkte; bei schwerem (31 kg) war, auch nach längerer Uebungszeit, nur eine sehr geringe Abnahme der Schädigungen nachweisbar«[3]).

Meine Versuche, welche ich unter Leitung von Herrn Prof. Kronecker angestellt habe, sollten zunächst Gruber's Resultate an anderen Personen prüfen, sodann entscheiden, ob Menschen, welche auf anderem Wege als durch Uebung gestärkt werden, also z. B. Reconvalescenten von erschöpfenden Krank-

1) Correspondenzblatt für Schweizer Aerzte. 15. October 1888. Siehe auch diese Zeitschrift 1892.

2) Vorläufiger Bericht über die zulässige Belastung der Soldaten auf Märschen. (Deutsche militärärztl. Wochenschr. 1895, S. 7.)

3) a. a. O. S. 32.

heiten, gleichfalls ökonomischer arbeiten, als zur Zeit, da sie noch geschwächt waren.

Zu den Untersuchungen über den Einfluss der Uebung auf den Gaswechsel bot mir Herr Prof. Auer, leitender Architekt des neuen Bundesrathhauses zu Bern in hilfreicher Güte Gelegenheit. Es drängt mich, ihm dafür auch an dieser Stelle verbindlichst zu danken.

Zur Förderung der grossen Bausteine wurden am Bundesrathhause Treträder verwendet, in deren jedem gewöhnlich sechs bis acht Arbeiter liefen, um die beträchtlichen Lasten bis zu je 20 m Höhe aufzuwinden.

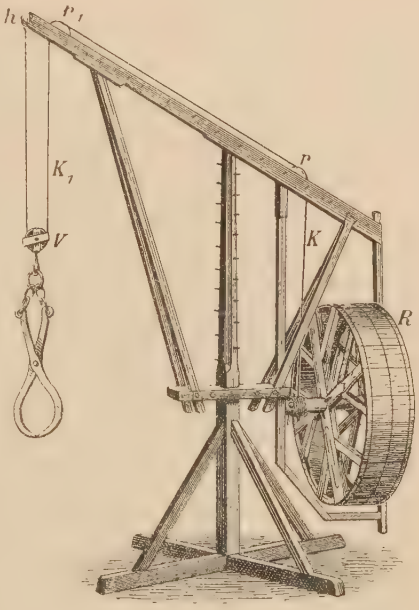

Fig. 1.

Die Einrichtung der in Bern für die Steinbauten üblichen »Radzüge« veranschaulicht die nebenstehende Abbildung (Fig. 1) eines im Berner Gewerbemuseum aufgestellten Modells.

Das Tretrad R von etwa 4,5 m Durchmesser und 500 kg Gewicht ist um einen Zapfen von 3,5 cm Durchmesser drehbar. Auf diesem Zapfen sitzt eine Walze von 23,3 cm Durchmesser, auf welche die Kette K, K_1 (am photographirten Modelle durch eine Schnur angedeutet) von den im Tretrade gehenden Arbeitern aufgewickelt wird. Die Kette läuft über die am Querbaume befestigten zwei Rollen r und r_1 zur einfachen Flaschenzugrolle mit Hacken (»Vogel«) V. An diesem hängt eine grössere (81,5 kg) oder kleinere (70 kg) Zange zum Fassen der Steinquadern. Die Kette endigt am obersten Ende des Querbaums am Hacken h.

Die Höhendifferenz zwischen den Rollen r und r_1 wechselt bei den verschiedenen Radzügen etwas, beträgt aber ungefähr

4 m, die Entfernung der Rolle r von der Radwalze 7,5 m, so dass die Rolle r_1 etwa 11,5 m über der Walze steht. Demzufolge würde (abgesehen von den Reibungen) ein 11,5 m langes Stück der die Zange haltenden Kette K_1 äquilibrirt. Die Reibungen der Kette auf dem Querbaume und den Rollen sind derart bestimmt worden, dass ein Arbeiter ein Stück Kette von der Walze abhob und lose hielt, ein anderer Arbeiter den »Vogel« soweit herabzog, bis dem ersten Arbeiter sein Kettenstück weggezogen wurde. Wenn der Vogel an der Kette 1 m unter das Niveau der Walze gebracht worden war, begann er die Kette von der Walze abzuziehen. Da der Vogel am einfachen Flaschenzuge hängt, so wirkt er nur mit der Hälfte seines Gewichtes = 32,5 kg. Dazu zieht 1 m Kette = 11 kg. Demnach sind 43,5 kg erforderlich, um die Kettenreibungen zu überwinden.

In unseren Versuchen konnte die Zange vom Boden ab um etwa 20 m gehoben worden. 1 m Kette wiegt, wie oben gesagt, etwa 11 kg und besteht aus etwa 15 Gliedern. Jedes Kettenglied ist also ungefähr 733 g schwer. Demnach hat die 20 m lang von der Rolle r herabhängende Kette ein Gewicht von 220 kg. Hiervon würden, ohne Rücksicht auf die Kettenreibung, 11,5 m = 126,5 kg durch das von der Rolle r bis zur Radwalze hängende Kettenstück äquilibrirt. Von diesen 126,5 kg ist aber das oben berechnete Reibungsgewicht von 43,5 kg abzuziehen. Es werden also 83 kg von der zu hebenden Last durch die ablaufenden Kettenstücke aufgewogen. So bleiben beim tiefsten Stande des Vogels nur (220 — 83 kg =) 137 kg Kette, entsprechend etwa 12,5 m Kette (ausser Vogel, Zange und angehängter Last) zu heben.

Da jedes starre Glied der Kette bei der Aufwickelung ungetheilt gehoben wird, so entspricht die Summe des gehobenen Gewichtes der Kette der Summe S einer arithmetischen Reihe, deren Anfangsglied den maximalen Lastrest des Kettenstückes K_1 darstellt, gleich dem grössten Gliede z der Reihe; das Endglied p = dem am Schlusse der Hebung bleibenden Reste der Kette. Das ideale Endglied a entspräche einem Kettenglied.

Zu dieser Lastsumme ist bei Drehung des Tretrades die Axenreibung zu überwinden. Auch diese wurde durch einen

Versuch bestimmt. Man musste 5,5 m Kette nebst Vogel unter das Niveau der Walze ablaufen lassen, bevor das schwere Rad sich rückwärts zu drehen begann. Demnach sind 93 kg erforderlich zur Ueberwindung der Axen- und Kettenreibung. Rechnen wir die schon in Anschlag gebrachte Kettenreibung = 43,5 kg ab, so bleiben für die Axenreibung bei langsamer Drehung 49,5 kg. Dies stellt einen Minimalwerth dar, weil selten die Axe des Rades so gut geschmiert war. Wir wollen daher rund 50 kg Axenreibungsgewicht setzen.

Die von den arbeitenden Versuchspersonen ausgeathmete Kohlensäure wurde, wie in Gruber's Experimenten, durch Natronkalk absorbirt. Um auch für Ungeübte die Athmungen durch den Absorptionsapparat zu ermöglichen, wurde nach den ersten Versuchen der Athmungsschlauch *A* (Fig. 2) nicht durch die Zähne gesperrt, sondern vermittelst Klappenventile *V* der Zutritt der Luft vom aufgeblasenen Gummikissen *K* zum Munde verhindert. Der etwa absickernde Speichel sammelte sich im gläsernen Wassersacke *S*. Die Ausathmungsluft wurde im Chlorcalciumrohre *O* theilweise und in dem mit Phosphorsäureanhydrid beschickten Rohre *P* vollkommen getrocknet, bevor sie in den Kohlensäure-Absorptionsapparat drang. Die Versuchsmenschen hatten nur zu lernen, durch die Nase ein-, durch den Mund auszuathmen, was recht leicht ist, da wir erstens Alle beim Sprechen, Singen u. s. w. durch den Mund auszuathmen gewohnt sind, ferner in diesen Experimenten das Ventil die Einathmung durch den im Munde gehaltenen Gummischlauch verhinderte.

Die vom Natronkalk absorbirte Kohlensäuremenge wurde durch Wägung bestimmt.

In einigen Fällen liess ich, wie Gruber, in einem Ballon die durch die Natronkalkröhren getriebene Exspirationsluft auffangen, um zu prüfen, ob alle CO_2 vom Natronkalke absorbirt worden war. Die aus dem Gummiballon (von etwa 2 l Inhalt) durch ein kleines Natronkalkröhrchen gepresste Luft liess dann die etwaigen Reste von CO_2 erkennen, was in den Versuchsprotokollen angegeben ist.

In vielen Fällen habe ich auf die Prüfungsballons verzichtet, weil schon aus der geringen Menge von CO_2 in den letzten Absorptionsröhren zu schliessen war, dass alle CO_2 absorbirt worden.

Es war wesentlich, um Verluste von CO_2 zu vermeiden, den mit Ausathmungsluft gefüllten, unter dem Arme gehaltenen Sack langsam und gleichmässig durch die Absorptionsröhren entleeren zu lassen. Darin wurden die Versuchsmenschen vorzugsweise geübt. Wo dies nicht anging, habe ich das Auspressen selbst übernommen.

Der Kohlensäureabsorptionsapparat wurde schliesslich auf Rath von Hrn. Prof. Kronecker in einer Weise vervollkommnet,

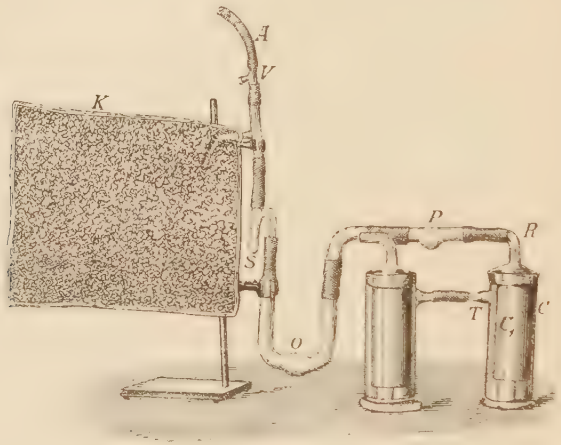

Fig. 2.

wie es beifolgende Fig. 2 verdeutlicht: Ein Glascylinder C von 1 l Inhalt mit offenen Grundflächen trägt nahe seinem oberen Ende einen den Mantel durchdringenden Tubus T. Die untere Grundfläche ist durch einen Glasstöpsel verschliessbar. Durch die obere Grundfläche reicht ein engerer Glascylinder C_1 von etwa ½ l Inhalt bis nahe zum Boden des grösseren Cylinders. Der kleinere Cylinder ist oben derart erweitert, dass er in die obere Mündung des grösseren Cylinders eingeschliffen werden konnte. Ein durch diesen Deckel eingeschmolzenes Knierohr R dient zur Verbindung mit dem Ausathmungsschlauch. Durch den zum äusseren Cylinder C führenden Tubus T kann ein zweites mit

Natronkalk gefülltes Absorptionsgefäss mit dem ersten verbunden werden, was in meinen Versuchen meist geschah, um Reste von Kohlensäure zu binden, welche bei schnellem Ausathmen vom ersten Gefässe nicht festgehalten worden waren.

Als erste Versuchsperson diente Friedr. Jenni, Steinträger, 16 Jahre alt, 52,8 kg schwer.

Die Versuche wurden immer zwischen 6 und 7 Uhr Abends angestellt, nachdem der Jüngling zwischen 12 und 1 Uhr sein Mittagessen, bestehend aus Suppe, Fleisch, Kartoffeln, Brod, ohne anderes Getränk als Wasser — um 4 Uhr seinen Vesperimbiss: wenig Brod und Bier genommen hatte.

Vor dieser Versuchsreihe hatte Jenni während 14 Tage ab und zu im Tretrade gearbeitet und während einiger Tage sich im Gebrauche des Athmungsapparates geübt.

Versuch I.

Jenni athmet am 6. Mai 1890 ruhig stehend während 15 Minuten durch den Natronkalkapparat. Er machte im Durchschnitt 18 Respirationen während 1 Minute.

Der Natronkalk wog nach dem Versuch:	1026,78 g
vor » »	1016,37 »
demnach Kohlensäure absorbirt	10,41 g.

Versuch II.

Am 14. Mai wand Jenni, während 16 Minuten im Tretrade gehend, mühsam 11 m Kette mit angehängtem »Vogel« (Rolle mit Haken) von 65 kg Gewicht auf und athmete während dessen und noch 3 Minuten nach dem Ende der Arbeit durch den Absorptionsapparat. Für eine Umdrehung des Rades brauchte er 55 bis 65 Schritte während 1 Minute. Am Ende der Arbeitsperiode drehte er das weniger belastete Rad mit längeren Schritten etwas schneller und leichter. Die geleistete Arbeit berechnet sich nach den Seite 296 entwickelten Principien folgendermaassen: Kettenlänge = 20 m, deren Gewicht = 220 kg, davon ab das Gegengewicht 83 kg, bleiben 137 kg Anfangsgewicht. 11 m Kette wiegen 121 kg, also bleiben am Ende der Hubarbeit 137 — 121 = 16 kg Kettenüberlast. Bei Kettenlänge = 7,5 m ist die Aequilibrirung vollkommen, also sind im Ganzen etwa 12,5 m zu heben, bis die Kettenhubarbeit = 0 wird. 12,5 m enthalten etwa 188 Kettenglieder. Jedes Kettenglied wiegt ungefähr 0,733 kg; wir finden also die Summe der Arbeit beim Aufwickeln der Kette bis zum Aequilibriren durch die Gleichung $S = (z + a)\frac{n}{2}$. Den Buchstaben entsprechen in unserm Fall folgende

Zahlen: (137 kg + 0,733 kg) $\frac{188}{2} = 12\,946{,}902 \times \frac{1}{15}$ m (Länge eines Kettengliedes) = 863,126 kgm. Am Ende der Hebung blieb im vorliegenden Versuche folgender Arbeitswerth zurück:

$$S = (16 \text{ kg} + 0{,}733 \text{ kg}) \frac{20}{2} = 16{,}733 \cdot 10 \cdot \frac{1}{15} = 11{,}15 \text{ kgm.}$$

Demnach entspricht der von Jenni bewirkte Kettenhub einem Arbeitswerthe von rund 852 kgm; dazu kommt die Hebung des »Vogels« von 65 kg um 11 m = 715 kgm + Axenreibungswerth = 50 kg × 11 m = 550 kgm. Also Gesammtarbeit = 852 + 715 + 550 = **2117** kgm.

Der Natronkalk im Absorptionsapparat wog

nach dem Versuche	1115,84 g
vor dem Versuche	1092,74 »
demnach wurde Kohlensäure absorbirt	23,10 g.

Der Probeballon enthielt 0,02 g CO_2. Daraus ist zu schliessen, dass nicht alle ausgeathmete Kohlensäure durch den Absorptionsapparat aufgefangen worden ist.

Versuch III.

Nachdem Jenni vom 6. Mai bis zum 10. Juli täglich im Tretrade gearbeitet hatte, danach nur gelegentlich, athmete er am 16. Juli 15 Minuten lang durch den Absorptionsapparat, während er 13 Minuten mühelos das Rad drehte und 2 Minuten danach ruhte.

Er vollbrachte eine ganze Raddrehung schon in 35—45″ und brauchte hierzu nur 38 — 48 Schritte. Er wickelte während 13 Minuten 16 m Kette mit anhängendem »Vogel« auf.

Die geleistete Gesammtarbeit ergibt sich aus folgenden Werthen:

1) Arbeitssumme S für 12,5 m Kettenhebung = 863,126 kgm.

2) Auf die übrigen 3,5 m gehobener Kette wirkt in wachsendem Grade das Gegengewicht der Kette von 83 kg; $S_1 = (a + p)\frac{n}{2} = (0{,}733 \text{ kg} + 38{,}5) \frac{52{,}5}{2} = 39{,}233 \times 26{,}25 = 1029{,}866 \text{ kg} \times \frac{1}{15}$ m = 68,657 kgm. Dieser Werth ist abzuziehen von der Arbeit, die geleistet wurde durch Hebung des Vogels von 65 kg um 16 m = 1040 kgm — 68,657 = 971,343 kgm; dazu Axenreibungswerth = 50 kg × 16 m = 800 kgm. Hieraus ergibt sich der Gesammtarbeitswerth = **2634,47** kgm.

Der Natronkalk im Absorptionsapparat wog

nach dem Versuch	1135,43 g
vor dem Versuch	1114,45 »
demnach wurde Kohlensäure absorbirt	**20,98** g.

Versuch IV.

Jenni athmete am 18. Juli 15 Minuten lang durch den Absorptionsapparat, während er ruhig stand.

Der Natronkalk wog nach dem Versuch 1130,65 g
vor dem Versuch 1119,75 »
demnach wurde Kohlensäure absorbirt 10,90 g.

Jenni schied also ruhend im Mittel während 1 Minute 0,72 g CO_2 aus. Am 6. Mai hatte er unter gleichen Umständen pro 1 Minute 0,69 g CO_2 ausgeathmet. Man kann daher die mittlere Ruheausscheidung während 1 Minute auf ungefähr 0,7 g veranschlagen.

Am 14. Mai expirirte während 19 Minuten der 16 Minuten lang arbeitende Mann 23,1 g CO_2. Die Ruheausscheidung in der gleichen Zeit würde nach obigen Ansätzen rund 13,4 g betragen. Daraus ergibt sich bei Arbeitsleistung von 2117 kgm ein Mehrumsatz entsprechend 9,7 g CO_2, d. h. pro 1 g CO_2 eine Arbeitsleistung von 218 kgm. — Am 16. Juli schied der geübte Mann bei einer Arbeit von 2634,47 kgm 20,98 g CO_2 aus. Er würde in der Ruhe gleicher Dauer 10,5 g gebildet haben. Es entspricht demnach 1 g CO_2 einer Arbeitsleistung von 250 kgm. Dieser Einfluss der Uebung ist gering. Die Versuchsperson war nicht geeignet.

Die zweite Versuchsperson war J. Schneider, ein kräftiger 22 jähriger Steinhauer. Er gibt an, dass er bis zum Tage vor Beginn dieser Versuche niemals (ausser vor 2 Jahren zwei Tage lang) im Tretrade gearbeitet habe, sondern seit 2 Jahren als Steinhauer beschäftigt gewesen sei. Sein Körpergewicht war am 16. Mai 63,78 kg, am 10. Juli 65,2 kg. Seine Mittagessen bestanden aus Brod, Fleisch, Kartoffeln, ohne anderes Getränk als Wasser. Um 4 Uhr Nachmittags nahm er 1 Glas Bier. Die Versuche wurden um 7 Uhr Abends ausgeführt.

Versuch I.

Schneider athmete am 16. Mai 14 Minuten lang durch den Apparat, während er im Tretrade war. Er wickelte während 11 Minuten 16 m der Kettenlänge und blieb, während der letzten 3 Athemminuten nach der Arbeit stehend. Während der Arbeit schwitzte er bei Sonnenhitze stark, fand jedoch die Arbeit nicht besonders anstrengend. Er drehte das Rad während 30″ einmal herum und machte 68—73 Schritte während 1 Minute. Seine Arbeitsleistung entsprach 2634,47 kgm.

Gewicht des Natronkalkes	nach dem Versuch	1143,11 g
» » »	vor » »	1119,85 »
	die absorbirte Kohlensäure =	23,26 g.

Der Probeballon enthielt 0,017 g CO_2.

Versuch II.

Schneider athmete am 22. Mai 17′ 45″ lang durch den Apparat, während er am Rade 16 m der Kette aufwickelte. Zu dieser Arbeit brauchte er 14′ 15″, und gab dann noch während darauffolgender Ruhezeit von 3′ 30″ seine CO_2 in den Apparat ab. Auf meine Bitte, langsamer zu gehen als beim ersten Versuche, drehte er das Rad während 36—40″ einmal herum, dabei 62—58 Schritte in der Minute machend. Gesammtarbeit = 2634,47 kgm.

Gewicht des Natronkalkes nach dem Versuch	1181,03 g
» » » vor » »	1156,02 »
Gewicht der Kohlensäure	25,01 g.

Der Probeballon enthielt 0,014 g CO_2.

Versuch III.

Schneider athmete am 23. Mai während 18 Minuten durch den Apparat; 15′ lang hob er mittels des Tretrades eine grosse Zange von 81,5 kg, die am Ende der Kette hing, 13 m hoch und ruhte sodann während ca. 3′. Sogleich nach der Arbeit hatte er 120 Pulse pro 1′; 3′ später normale Pulsfrequenz. Das Rad drehte er in 40 — 45″ einmal herum, und machte dabei 56 bis 61 Schritte pro 1 Minute. Er schwitzte viel und schien recht erschöpft zu sein. Arbeitsleistung = 3461,57 kgm.

Gewicht des Natronkalkes nach dem Versuche	1203,46 g
» » » vor » »	1175,99 »
Gewicht der Kohlensäure	27,47 g.

Versuch IV.

Ganz analog dem vorigen Versuche war dieser am 5. Juni ausgeführt, nur dass die Ruheathmung 30″ länger währte. Eine Raddrehung geschah in 42—50″ bei einer Schrittfrequenz von 53—55 Schritten pro 1′. Er schwitzte nicht so viel und war nicht so ermüdet wie beim vorigen Versuche. Arbeit = 3461,57 kgm.

Gewicht des Natronkalkes nach dem Versuch	1268,12 g
» » » vor » »	1241,28 »
Gewicht der Kohlensäure	26,84 g.

Der Probeballon enthielt 0,02 g.

Versuch V.

S. athmete am 11. Juli während 15′ durch den Apparat, während er im physiologischen Institute ruhig stand.

Gewicht des Natronkalkes nach dem Versuch	1220,49 g
» » » vor » »	1206,93 »
Gewicht der Kohlensäure	13,56 g.

Versuch VI.

S. athmete am 8. Juli während 15′ durch den Apparat, indem er 13′ lang mittels des Tretrades die Kette ohne Zange 16 m hoch aufwickelte, hierauf 2′ lang ruhte. Zu einer Raddrehung brauchte er 30—37″ bei einer Schrittfrequenz von 56—60 pro 1′. Arbeitsleistung = 2634,47 kgm.

Gewicht des Natronkalkes nach dem Versuch	1113,23 g
» » » vor » »	1092,34 »
Gewicht der Kohlensäure	20,89 g.

Versuch VII.

S. athmete am 9. Juli während 15′ 30″ durch den Apparat, indem er 13′ 30″ lang mittels Tretrades die in Versuch III erwähnte Zange an der Kette 13 m hoch hob, darnach 2′ lang ausruhte. Eine Raddrehung vollbrachte er in 40—42″ bei einer Schrittfrequenz von 50—57 pro 1′. S. leistete diese Arbeit mit viel weniger Anstrengung als in den früheren Versuchen. Arbeit = 3461,57 kgm.

Gewicht des Natronkalkes	nach dem Versuch	1115,12 g
» » »	vor » »	1092,77 »
	Gewicht der Kohlensäure	22,35 g.

Versuch VIII.

S. athmete am 10. Juli während 15′ durch den Apparat, indem er ruhig stand. Bis zu diesem Tage hatte er seit 15. Mai alle Wochentage im Tretrade gearbeitet.

Gewicht des Natronkalkes	nach dem Versuch	1113,37 g
» » »	vor » »	1100,14 »
		13,23 g.

Die Ruheausscheidung von Kohlensäure betrug am 11. Juni 13,56 g pro 15′, am 10. Juli 13,23 g pro 15′, also resp. 0,90 und 0,89 pro 1′. Demgemäss scheint dieselbe constant zu bleiben, und das arithmetische Mittel dieser zwei Versuche 0,895 kann als Durchschnittswerth der Ruheausscheidung während 1′ für die ganze Reihe angenommen werden.

In den drei Versuchen I, II, VI wand S. die gleichen Längen der gleichen Kette (ohne Zange) auf.

Am 16. Mai (Vers. I) ausgeschiedene CO_2	23,26 g
Zieht man davon die pro 14′ berechnete Ruheausscheidung	12,53 »
ab, so bleiben als Arbeitsumsatz . . .	10,73 g für
d. h. auf 1 g CO_2 = 245 kgm.	2634,47 kgm

Am 22. Mai (Vers. II) ausgeschiedene CO_2	25,01 g.
Hiervon pro 17′ 45″ berechnete Ruheausscheidung abgezogen	15,89 »
so bleibt als Arbeitsumsatz	9,12 g

d. h. auf 1 g CO_2 = 288 kgm.

Am 8. Juli (Vers. VI) ausgeschiedene CO_2	20,89 g.
Hiervon pro 15′ berechnete Ruheausscheidung abgezogen	13,42 »
so bleibt als Arbeitsumsatz	7,47 g

d. h. auf 1 g CO_2 = 352 kgm.

Aus diesen drei Versuchen ergibt sich folgendes procentische Verhältniss der bei gleicher Leistung am 2., 8. und 55. Tage ausgeschiedenen Kohlensäuremengen 100 : 85 : 69,6. Wenn man die Ergebnisse von den am 23. Mai, 5. Juni und 9. Juli ausgeführten Versuchen (worin die Zange an der Kette angehängt war) vergleicht, findet man ein ähnliches Resultat.

Am 23. Mai (Vers. III) ausgeschiedene CO_2 27,47 g.
Hiervon pro 18′ berechnete Ruheausscheidung abgezogen . . . . . 16,11 »
verbleibt als Arbeitsumsatz . . . . . 11,36 g für 3461,57 kgm
d. h. auf 1 g CO_2 = 305 kgm.

Am 5. Juni (Vers. IV) ausgeschiedene Co_2 26,840 g.
Hiervon pro 18½′ berechnete Ruheausscheidung abgezogen . . . . . 16,557 »
verbleibt als Arbeitsumsatz . . . . . 10,283 g
d. h. auf 1 g CO_2 = 336 kgm.

Am 9. Juli (Vers. VII) ausgeschiedene CO_2 22,35 g.
Hiervon pro 15½′ berechnete Ruheausscheidung abgezogen . . . . . 13,87 »
verbleibt als Arbeitsumsatz . . . . . 8,48 g
d. h. auf 1 g CO_2 = 408 kgm.

Aus diesen 3 Versuchen (mit Zange) ergibt sich folgendes procentische Verhältniss der bei gleicher Leistung am 9., 22. und 56. Tage ausgeschiedenen CO_2-Menge 100 : 90,5 : 74,6.

Aehnliche Werthe fand M. Gruber bei seinen früher ausgeführten Versuchen, nämlich 1 g CO_2 entsprechend 300 bis 500 kgm Arbeit.

Hieraus ergibt sich, dass die Uebung sowohl bei schwerer wie bei leichterer Arbeit die Kohlensäureausscheidung vermindert. Freilich nahm in unseren Versuchen bei schwerer Arbeit die Kohlensäure weniger ab als bei leichter Arbeit, aber dies ist dadurch zu erklären, dass Schneider den ersten Versuch mit der Zange nicht in ganz ungeübtem Zustand gemacht hat, sondern nachdem er im Tretrade über eine Woche gearbeitet hatte.

Während dieser Zeit war er, wie die erste Versuchsreihe zeigt, schon zur Hälfte trainirt worden.

Man könnte vielleicht einwenden, dass das Gewicht des Individuum während der Versuchszeit um 1,42 kg zunahm, und dass durch diese Zunahme die Arbeit (welche er ja durch sein Gewicht leistet) erleichtert wurde. Aber diese kleine Mehrlast musste er doch beim Steigen im Tretrade zunächst heben.

Die Ersparniss im Stoffwechsel wurde mit jedem Uebungstage geringer. Die grösste Verminderung des Stoffverbrauchs geschah in der ersten Woche, in welcher sie ungefähr 15% betrug. Zu einer weiteren Verminderung von 15% waren sieben Wochen erforderlich. Leider war der Mann während dieser Zeit nicht untersucht worden, so dass ich nicht entscheiden konnte, ob die Trainirung allmählich geschah, oder ob sie nach einer gewissen Zeit vor unserer Schlussprüfung abgeschlossen war.

Wir wünschten nun zu wissen, ob durch Verbesserung der Körperconstitution ohne Uebung der Gaswechsel sparsamer werde.

Zu dieser Versuchsreihe diente Egger, ein 11jähriger im Jennerspital vom Typhus geheilter Reconvalescent, welchen ich, mit freundlicher Erlaubniss von Hrn. Prof. Demme, den Arbeitsversuchen unterzogen habe. Folgender Abriss der Krankengeschichte sei zur Orientirung vorausgeschickt. — Beginn der Erkrankung am 13. April, Dauer des Fiebers bis zum 26. Mai. Von da an bis zum 12. Juni schwankte die Temperatur zwischen 37,5° und 38°. Vom 13. Juni an bleibt der Patient vollständig fieberfrei. Auf der Höhe der Krankheit wog Patient 22,6 kg und zu Beginn der Versuche 23,6 kg. Seit 13. Juni sind die Verdauungsorgane vollständig zur Norm zurückgekehrt, während Anfangs Juni auch der dünnste Brei Temperatursteigerung hervorgerufen hatte. Bis zum 12. Juli erhielt Patient nur Milchdiät mit ein wenig Fleischbrühe um 11 Uhr Vormittags. Nach dem 12. Juli durfte er Suppe, Fleisch und Brod um 11 Uhr verzehren. Die Athmungsversuche wurden zwischen 3 und 4 Uhr Nachmittags angestellt.

Versuch I. 23. Juni.

Egger athmete in den Luftsack. Weil er zu schwach war, so nahm ich ihm die Mühe ab, die Luft aus dem Sacke durch die Röhren zu pressen und habe dies dann in allen Versuchen bei dem gleichen Knaben gethan. Er athmete 9′ lang stehend in den Apparat aus, der auf einem Sessel gehalten wurde. Er schien noch sehr schwach zu sein und war ängstlich.

Gewicht des Natronkalks nach dem Versuche	1100,29 g
» » » vor » »	1095,26 »
Gewicht der Kohlensäure	5,03 g.

Versuch II.

Am 24. Juni wurde in ganz gleicher Weise wie am vorhergehenden Tage 10′ lang der Versuch angestellt.

Gewicht des Natronkalks nach dem Versuche .	602,42 g
» » » vor » »	596,19 »
Gewicht der Kohlensäure	6,23 g.

Versuch III.

E. ging am 25. Juni, während 10′ 15″, 468 m weit im Hofe des Instituts umher, während ich, wie in allen Gehversuchen, den Apparat trug und durch denselben den Gummisack entleerte, in welchen er athmete. Nach der Hälfte des Weges machte er eine Ruhepause von 30″. Er schwitzte wenig. Vor dem Versuche zählte ich bei ihm 120 Pulse, gleich nach dem Spaziergange 130 Pulse pro 1′.

Gewicht des Natronkalks nach dem Versuche .	610,36 g
» » » vor » »	599,91 »
Gewicht der Kohlensäure	10,45 g.

Versuch IV.

E. machte am 1. Juli den Weg von 468 m binnen 11′ ohne Ruhepause. Er erschien viel stärker als am 25. Juni.

Gewicht des Natronkalks nach dem Versuche	1093,46 g
» » » vor » »	1083,39 »
Gewicht der Kohlensäure	10,07 g.

Versuch V.

E. erstieg am 7. Juli, in den Apparat athmend, die Treppen des Instituts, hob damit sein Gewicht während 3′ 30″ um 18,36 m, athmete oben ruhend noch 1′ 30″ in den Luftsack, stieg sodann wieder herab und begann nach 5′ Athempause wieder den zweiten Aufstieg mit Apparat-Athmung während 3′ und 2′ Ruhe auf der Höhe. Derart war die Kohlensäure während zweier Aufstiege bis zur Gesammthöhe von 36,72 m innerhalb 6′ 30″ und 3′ 30″ Nachathmung gesammelt. Sein Körpergewicht betrug 28,95 kg.

Gewicht des Natronkalks nach dem Versuche	1073,06 g
» » » vor » »	1062,32 »
Gewicht der Kohlensäure	10,74 g.

Versuch VI.

E. athmete, am 24. Juli, 11′ lang in den Apparat und zwar 9′ 30″, während er einen Weg von 468 m zurücklegte, 1′ 30″ während nachfolgender Ruhe.

Gewicht des Natronkalks nach dem Versuche	1150,10 g
» » » vor » »	1140,94 »
Gewicht der Kohlensäure	9,16 g.

Versuch VII.

E. athmete am 25. Juli, während 10′ ruhig stehend, in den Apparat aus (12 Respirationen pro 1′).

Gewicht des Natronkalks nach dem Versuche	1078,32 g
» » » vor » »	1072,68 »
Gewicht der Kohlensäure	5,64 g.

Versuch VIII.

E. athmete mehrere Stunden nach dem vorhergehenden Versuche in den Apparat, während er die Institutstreppen zweimal hinaufstieg: einmal innerhalb 3′ 45″ und 1′ 45″ Ruhepause (mit Athmung), das zweite Mal 5′ später, innerhalb 3′ mit nachfolgender Ruhe von 2′. Körpergew.: 32,375 kg.

Gewicht des Natronkalks nach dem Versuche	1087,71 g
» » » vor » »	1078,32 »
Gewicht der Kohlensäure	9,39 g.

Wenn man die Ruheausscheidungen bei Egger vergleicht, findet man am ersten Tag 5,03 g in 9′, am zweiten 6,23 g in 10′ und am 33. Tage 5,64 g in 10′, im Durchschnitt 0,58 g pro 1′.

Ein Vergleich der Ausscheidung beim Gehen auf der Ebene zeigt

1. am 3. Tag ausgeschiedene CO_2	510,45 g
Hiervon die pro $10^1/_4$′ berechnete Ruheausscheidung abgezogen	5,945 »
ergibt für die Geharbeit von 468 m .	4,505 g.
2. am 9. Tage ausgeschiedene CO_2	10,07 g
Hiervon abgezogene Ruheausscheidung .	6,38 »
ergibt für die Geharbeit	3,69 g.
3. am 32. Tage ausgeschiedene CO_2 . . .	9,16 g
Hiervon pro 11′ berechnete Ruheausscheidung abgezogen	6,38 g
ergibt für die Geharbeit	2,78 ».

Aus den obigen Zahlen ist ersichtlich, dass am 3., 9. und 32. Tage der gleichen Geharbeit CO_2-Ausgaben von resp. 4,505, 3,69 und 2,78 g entsprechen, d. h. die Ersparniss von 18% bis auf 39% wuchs. Bei Egger machte sich daher die Abnahme in der durch Gehen verursachten Kohlensäureausscheidung, hauptsächlich in der ersten Woche bemerklich, indem zwischen dem 3. und 9. Tage fast die gleiche Ersparniss zu sehen ist, wie zwischen dem 9. und 32. Tage. Dagegen muss man sich erinnern, dass sein Körpergewicht beträchtlich zunahm, durchschnittlich 2 kg die Woche, und dass dementsprechend die Gearbeit in der ersten Woche um etwa 8% wuchs; von der 2. bis 5. Woche aber um 25 %.

Wenn man die Steigversuche ebenso vergleicht, findet man ähnliche Kohlensäureverminderung.

1. Am 15. Tage athmete E. in den Apparat 10' lang, während deren eine Ruheausscheidung von 5,80 g anzunehmen ist; als Arbeitswerth bleiben daher 4,94 g CO_2. Diese Menge genügte zur Arbeitsleistung von 1063 kgm, indem er sein Körpergewicht von 28,95 kg zu einer Höhe von 36,72 m hob, woraus folgt, dass 0,464 g CO_2 per 100 kgm ausgegeben wurden oder für 1 g CO_2 = 215 kgm.

2. Am 33. Tage können die beim Steigen insgesammt ausgeschiedenen 9,39 g CO_2 in derselben Weise vertheilt werden: in eine Ruheausscheidung von 5,51 g und eine Arbeitsausscheidung von 3,88 g für das Heben von 32,373 kg auf eine Höhe von 36,72 m, d. i. zu einer Arbeitsleistung von 1188 kgm. Daraus ist zu berechnen, dass 100 kgm einer Kohlensäureausscheidung von nur 0,326 g entsprechen, oder 1 g CO_2 309 kgm. Die Abnahme gegenüber dem Verbrauche vom 15. Tage betrug demnach 30%.

Wenn wir die Ersparniss der Gehausscheidung mit derjenigen der Steigausscheidung vergleichen, finden wir beim Gehen eine Abnahme von etwa 21% zwischen dem 9. und 32. Tage, während beim Steigen eine solche von 30% zwischen dem 15. und 33. Tage stattfindet. Dieser Unterschied ist vielleicht dadurch zu erklären, dass, wie oben erwähnt, die Zunahme der Geharbeit durch vermehrtes Körpergewicht nicht mitgerechnet worden ist.

Herr Prof. Sahli gab mir mit grosser Liebenswürdigkeit die Gelegenheit, Versuche an Typhusreconvalescenten der medicinischen Klinik zu Bern zu machen, wofür ich ihm meinen innigen Dank ausspreche.

Zu einer der Versuchsreihen diente Haueter, ein 18jähriger Schreiner. Aus der Krankengeschichte lassen sich folgende Daten entnehmen: Der früher gesunde und kräftige Patient ist am 16. Januar 1895 mit typischen Erscheinungen von Typhus abdominalis in das Inselspital eingetreten. Das Fieber schwankte zwischen 38 und 39,5° und dauerte etwa 3 Wochen. Bis zum 16. Februar bekam er nur breiige Nahrung, dann allmählich die ganze Spitalkost. Er stand am 20. Februar zum ersten Male auf; er wog damals 54 kg; hatte ungefähr 15 kg abgenommen und fühlte sich recht schwach. Die Versuche wurden im physiologischen Institute vorgenommen.

Die Arbeitsleistung bestand nicht, wie bei Egger, einfach in Gehen oder Steigen, sondern in Heben eines Gewichts mittels eines von Herrn Professor Kronecker angegebenen Tretapparates. Derselbe war folgendermaassen eingerichtet: Ein starker eiserner Galgen trug an jedem Ende seines horizontalen Armes eine Rolle, über welche eine Kette lief. Dieselbe war einerseits mit einer Waagschale verbunden, die am freien Ende des Galgens herabhing, andererseits mit einem Tretbrette, dessen Fussende durch eine Charniervorrichtung am Boden des Apparates fixirt war. Das Gewicht der Waagschale wurde so gewählt, dass es das Brett ungefähr ins Gleichgewicht brachte. Durch Belastung der Waagschale wurde das Kopfende des Brettes in die Höhe gezogen, bis zu einem 15 cm hoch gelegenen Anschlag.

Von dieser Höhe hatte dann die Versuchsperson mit einem Fusse, indem der andere auf dem Boden ruhte, das Brett wieder herunterzudrücken. Es wurde jedesmal 5 Minuten mit dem rechten und 5 Minuten mit dem linken Beine getreten, ohne Zwischenpause. In den ersten Versuchen machte das Individuum 20, in den anderen 30 Tritte während einer Minute, so dass die Gesammtarbeit 1500 resp. 2250 kgm betrug. Während des Tretens athmete Haueter, wie in den früheren Versuchen, in den Kohlen-

säureabsorptionsapparat, welcher nur leicht modificirt worden war. Er bestand aus vier paarweise angeordneten Flaschen Natronkalk. Zur vollständigen Trocknung der Kohlensäure liessen wir die Exspirationsluft zuerst durch ein Gefäss mit Schwefelsäure, dann durch eine mit Phosphorsäureanhydrid versehene Flasche streichen.

Versuch I.

26. Februar 2 h 58′ Nachmittags.

Haueter athmete 10′ lang, ruhig sitzend durch den Apparat und zeigte am Ende des Versuchs keine Zeichen von Anstrengung. Die Pulsfrequenz hatte sich nicht vermehrt, die Athmungsfrequenz war auf 20 geblieben.

Die Wägung ergab eine Kohlensäureausscheidung von 13,31 g.

Versuch II.

27. Februar 3 h 58′ Nachmittags.

H. athmete ebenfalls ruhig sitzend in den Apparat 10′ lang.

Die Kohlensäureausscheidung betrug 14,60 g.

Versuch III.

1. März 4 h 48′ Nachmittag.

H. athmete 10′ lang stehend in den Apparat.

Kohlensäureausscheidung: 13,70 g.

Versuch IV.

4. März 6 h 40′ Nachmittag.

H. athmete 10′ lang in den Apparat, indem er auf der Tretmaschine arbeitete und das 50 kg schwere Gewicht während 1′ 20 mal 15 cm hoch hob. Die Arbeitsleistung betrug somit 1500 kgm. Nach dem Versuche fühlte sich der Patient ziemlich müde, sein Gesicht war mit Schweiss bedeckt, der Puls von 100 auf 114 gestiegen.

Kohlensäureausscheidung: 21,71 g.

Versuch V.

6. März 5 h Nachmittags.

Versuchsbedingungen wie in Versuch IV.

Kohlensäureausscheidung: 19,50 g.

Versuch VI.

12. März 6 h 20′ Nachmittag.

H. athmete wieder ruhig sitzend in den Apparat.

Kohlensäureausscheidung: 13,50 g.

Versuch VII.

14. März 6 h Nachmittag.

H. athmete 10′ lang in den Apparat, indem er diesmal das 50 kg schwere Gewicht 30 mal während 1′ in die Höhe hob. Die Arbeitsleistung war also

2250 kgm. Am Ende des Versuchs schien der Patient beträchtlich ermüdet und schwitzte sehr am Gesichte. Die Pulsfrequenz stieg von 96 auf 132.
Kohlensäureausscheidung: 22,47 g.

Versuch VIII.

16. März 5 h 40′ Nachmittag.

H. athmete unter gleichen Bedingungen wie im vorigen Versuche. Der Puls stieg von 94 auf 114.
Kohlensäureausscheidung: 22,92 g.

Versuch IX.

18. März 6 h 25′ Nachmittag.

Gleiche Arbeitsleistung. H. schien dabei sich mehr angestrengt zu haben. Er schwitzte mehr als im vorigen Versuche, der Puls war von 96 auf 132 gestiegen.
Kohlensäureausscheidung: 24,17 g.

Versuch X.

19. März 4 h 48′ Nachmittag.

Gleiche Arbeitsleistung. Puls 108 vor, 120 nach dem Versuche.
Kohlensäureausscheidung: 23,41 g.

Versuch XI.

25. März 5 h 50′ Nachmittag.

Gleiche Versuchsbedingungen.
Kohlensäureausscheidung: 23,39 g.

Haueter war während der ganzen Zeit dieser ersten Versuchsreihe im Inselspitale geblieben, wo er eine sehr regelmässige und ruhige Lebensweise hatte. Es wurde jetzt versucht, ihn einer leichten Steigübung zu unterziehen, wodurch er seine Beinmusculatur hauptsächlich zu kräftigen vermöchte. Zu diesem Zwecke machte er zuerst am 1. April die Besteigung des Gurten[1]) vom Spital aus. Er kam ziemlich müde zurück. Am 3. April stieg er dreimal hintereinander eine ungefähr 30 m hohe Treppe, wonach er erhebliche Müdigkeit in der Wadenmusculatur spürte. Am 4., 5., 6., 8., 10. April wurden ähnliche Uebungen gemacht, mit allmählicher Steigerung der Arbeitsleistung. Dieselbe war ihm zuletzt bedeutend leichter geworden. Es ist zu bemerken, dass während dieser Steigübung H. nicht an Gewicht zunahm, wie es in den letzten Ruhewochen der Fall war; er fühlte sich aber kräftiger.

1) Der Gipfel dieses Berges erhebt sich etwa 500 m über Bern.

Versuch XII.

10. April 5 h 48′ Nachm.

H. athmete 10′ lang in den Apparat, während er ruhig stand. Athmungsfrequenz 12 pro 1′, Puls 100.

Kohlensäureausscheidung: 12,90 g.

Versuch XIII.

10. April 6 h 35′ Nachm.

H. athmete 10′ lang in den Apparat, indem er, wie in den vorigen Arbeitsversuchen beim Treten auf der Tretmaschine eine Arbeitsleistung von 2250 kgm ausführte. Er fühlte sich nach dem Versuche bedeutend weniger müde als früher und schwitzte fast gar nicht; der Puls stieg von 90 auf 96.

Kohlensäureausscheidung: 19,76 g.

Haueter verliess hierauf das Inselspital und blieb zuerst einige Wochen zu Hause auf dem Lande, dann nahm er seine Beschäftigung als Schreiner wieder auf. Er kam am 10. Juli nach Bern, um einen letzten Versuch zu machen. Er sah damals sehr wohl aus und fühlte sich sogar kräftiger als vor seiner Krankheit. Er wog 63,5 kg.

Versuch XIV.

10. Juli 2 h 54′ Nachm.

Puls 84, Athmung 16. H. athmete 10′ ruhig stehend in den Apparat.

Kohlensäureausscheidung: 8,20 g.

Versuch XV.

10. Juli 3 h 25′ Nachm.

H. athmete wie in den vorigen Versuchen bei der gewöhnlichen Arbeitsleistung von 2250 kgm. Dieselbe kam ihm sehr leicht vor; die Tretbewegungen wurden kräftig und ohne Zeichen von Anstrengung ausgeführt. Die Pulsfrequenz stieg von 60 auf 104.

Kohlensäureausscheidung: 13,30 g.

Ein Vergleich dieser Resultate zeigt, dass die Verminderung der Kohlensäureausscheidung während der ersten drei Wochen eine relativ geringe ist. Die Mehrausscheidung war beim ersten Versuche (am 4. März) 1 g Kohlensäure pro 182,7 kgm, am 25. März 1 g pro 227 kgm. Dagegen am 10. April nach den Steigübungen, welche mehr im Sinne der allgemeinen Stärkung wirkten als im Sinne der wirklichen Trainirung, wie sie z. B. bei Schneider ausgeführt wurde, ist die Verminderung eine grössere: die Mehrausscheidung beträgt 1 g CO_2 pro 327,8 kgm. Endlich am 10. Juli

nach vollständiger Erholung und bei gewöhnlicher Lebensweise sinkt die Mehrausscheidung auf den Werth von 1 g Kohlensäure pro 441 kgm. Bemerkenswerth ist auch, dass die Kohlensäureausscheidung während der Ruhe, die am Anfang durchschnittlich 1,35 g pro 1′ betrug, zuletzt auf 0,82 g gesunken ist.

Zum Vergleiche mit dem Reconvalescenten diente eine gesunde Person: Hochstrasser, ein 19 Jahre alter Schreinerlehrling in der hiesigen Lehrwerkstätte. Er wog 64,5 kg und war nicht sehr kräftig gebaut. Er arbeitete den ganzen Tag, meistens stehend, in der Werkstätte, ohne die Beinmusculatur sonst besonders in Anspruch zu nehmen. Seine Nahrung bestand hauptsächlich aus Amylaceen, selten aus Fleisch und war jedenfalls nicht so kräftig, wie die Spitalkost von Haueter. Ausserdem machte er seine Versuche nach der Arbeit um 6 Uhr Abends in schon ermüdetem Zustande, während Haueter immer frisch vom Spitale zum Versuche kam. Die Versuche wurden sonst unter den gleichen Bedingungen wie an Haueter vorgenommen.

Versuch I.

27. März 6 h 35′ Nachm.

Hochstrasser athmete 10′ lang ruhig sitzend in den Absorptionsapparat.
Kohlensäureausscheidung: 10,06 g.

Versuch II.

28. März 6 h 47′ Nachm.

Hochstr. athmete 10′ lang in den Apparat, indem er auf der Tretmaschine das 50 kg schwere Gewicht 30 mal während 1′ in die Höhe hob. Er schwitzte ziemlich viel und fühlte sich recht müde; er klagte auch über Schmerzen in der Waden- und Oberschenkelmusculatur. Der Puls war von 90 auf 150 gestiegen.
Kohlensäureausscheidung: 19,79 g.

Versuch III.

30. März 6 h 37′ Nachm.

Gleiche Bedingungen wie im vorigen Versuche. Hochstr. schwitzte etwas weniger. Puls von 96 auf 144 gestiegen.
Kohlensäureausscheidung: 19,79 g.

Versuch IV.

1. April 6 h 39′ Nachm.

Gleiche Bedingungen. Hochstr. merkt, dass die Arbeit ihm etwas leichter geworden ist. Puls von 90 auf 138 gestiegen.
Kohlensäureausscheidung: 17,92 g.

Diese kleine Versuchsreihe zeigt bei Hochstrasser eine kleinere Kohlensäureausscheidung während der Ruhe: 1,006 g pro 1′, als bei Haueter (1,35 g am Anfange der Versuche). Die Mehrausscheidung beträgt im günstigsten Falle 1 g CO_2 pro 286,25 kgm, was den Werthen von Haueter am Ende des ersten Monats (327) ziemlich nahe kommt.

Es ist wahrscheinlich, dass durch allmähliche Trainirung eine beträchtliche Verminderung der Kohlensäureausscheidung hätte erlangt werden können; leider hat sich Hochstrasser durch Abreise weiteren Versuchen entzogen.

Die beiliegende Tabelle (S. 30 und 31) zeigt übersichtlich die Resultate der ganzen Versuchsreihe, und ich habe mir erlaubt, zum vollständigeren Vergleiche Dr. Gruber's Versuche mit den meinigen zusammenzustellen. Es ist daraus zu ersehen, dass meine Resultate die seinigen vollkommen bestätigen, — dass nämlich Uebung die Kohlensäureausscheidung in beträchtlichem Maasse vermindert. Die Grösse der Ersparniss ist individuell verschieden. Gruber und Jenni haben weniger erspart als Schneider, vielleicht weil beim Ersteren die Uebung nur 14 Tage dauerte, während der Zweite schon zum Theil geübt war als die Versuche anfingen.

Zuntz und Lehmann fanden einen Unterschied von 25% in dem Sauerstoffverbrauch pro Wegmeter eines im Trabe und im Schritte gehenden Pferdes. Bei meinen Versuchen ist mir vermehrte Kohlensäureproduction mit beschleunigter Arbeit nicht aufgefallen. Freilich änderten sich bei mir die Geschwindigkeiten nur in sehr engen Grenzen. So zeigen die an Schneider angestellten Versuche am 16. Mai und 22. Mai die gleiche Arbeit in 11′ und 14¼′, während die Ausscheidung bei schnellerem Treten um 15% vermindert war. Freilich habe ich diese Frage nicht speciell bearbeitet.

Ein Vergleich der Ruheausscheidung bei den sechs Individuen zeigt beträchtliche Unterschiede in der Kohlensäureausgabe pro 1 kg Körpergewicht. — Jenni von 52,8 kg Gewicht gab 0,69—0,72 g per 1′, d. h. 0,013—0,0136 g per Kilo.

Schneider, von 63,78—65,2 kg Körpergewicht, gab 0,90 bis 0,88 g per 1′, d. h. 0,0141—0,0135 g per Kilo.

Egger, von 23,6—32,75 kg Gewicht, gab 0,59—0,56 g per 1′, d. h. 0,025—0,0173 per Kilo.

Haueter, von 62 kg Körpergewicht, gab 0,0217 — 0,0132 per Kilo.

Hochstrasser, von 64,5 kg Gewicht, gab 0,0155 g pro Kilo.

Gruber, von 73 kg Gewicht, gab 0,485 g Kohlensäure per 1′, d. h. 0,0066 per Kilo und 1′.

Jenni und Schneider geben also ungefähr dieselbe Menge Kohlensäure wie Haueter nach vollständiger Erholung, und der Unterschied fällt zu Gunsten des jüngeren und kleineren Jenni aus, dagegen gab Gruber, der viel schwerer war, relativ weniger CO_2 aus als seine Nachfolger.

Geppert[1]) und Löwy[2]) u. A. haben Aehnliches in Bezug auf den Sauerstoffverbrauch bemerkt. Diese Autoren haben auch, gleich früheren, einen grösseren Stoffwechsel bei jüngeren als bei älteren Individuen beobachtet, aber der sehr beträchtliche Mehrwerth, den ich bei Egger fand, im Vergleiche mit den anderen Versuchspersonen, übertrifft bei weitem die Löwy'schen Resultate. Löwy bezeichnet (a. a. O. S. 211) als grössten von ihm gefundenen Sauerstoffverbrauch 5,36 ccm pro Kilo und Minute. Dem entsprächen gemäss seinem Versuchsprotokoll 4,905 ccm ausgeschiedene Kohlensäure. Egger gab 12,7 ccm ab bald nach seiner Genesung und 8,7 ccm 1 Monat später. Es wäre vielleicht die anfänglich ungemein hohe Kohlensäureausscheidung derart zu erklären, dass nach der erschöpfenden Krankheit auch das Stehen für den Reconvalescenten eine Arbeit war, welche seinen Stoffwechsel erheblich steigerte. Aber auch nach vollkommener Wiederherstellung seiner Körperkräfte, bei blühendem Aussehen, war die Kohlensäureausscheidung noch auffallend hoch.

---

1) Ueber die Einwirkung des Alkohols etc. Archiv f. Path. Bd. 22.

2) Ueber den Einfluss d. Abkühlung auf d. Gaswechsel des Menschen. Archiv f. d. ges. Physiol. Bd. 46.

Zusammenstellung der Resultate.

No. des Versuchs	Art der Arbeit	Dauer des Versuches	Arbeit	Ausgeschied. Kohlensäure während der gesammten Arbeit	Während der Ruhe ausgeschied. CO_2-Menge pro 1′	Der Arbeit zugeschrieb. CO_2-Mge.	Mehrausscheidung während der Arbeit		Bemerkungen
		Minute	kgm	g	g	g	g CO_2 pro kgm		
M. Gruber I	Steigen	20	5892	40,482	0,485	30,776	1	191,44	ungeübt
II	»	20	6075	32,216	0,485	22,357	1	271,72	nach 14 tägiger Uebung
Jenni I	Tretrad mit »Vogel»	19	2117	23,10	0,705	9,705	1	218,13	ungeübt, mit vieler Mühe
II	»	15	2634,5	20,98	0,705	10,405	1	253,18	nach 2 Monat. dauernd. Uebung
Schneider I	»	14	2634,5	23,26	0,89	10,80	1	243,93	ungeübt
II	»	17 45″	2634,5	25,01	0,89	9,227	1	285,52	nach 6 tägiger Uebung
III	»	15	2634,5	20,89	0,89	7,54	1	349,40	nach 55 tägiger Uebung
IV	Tretrad mit Gewicht	15	3461,6	27,47	0,89	11,45	1	302,76	
V	»	15 30″	3461,6	22,35	0,89	8,56	1	404,39	nach 47 tägiger Uebung
Egger I	Gehen	10 15″	—	10,45	0,58	4,505		—	
II	»	11	—	10,07	0,58	3,69		—	nach einer Woche Minderausscheidung von 18 % CO_2
III	»	11	—	9,16	0,58	2,78		—	nach einem Monate Minderausscheidung von 39 % CO_2
IV	Steigen	10	1063	10,74	0,58	4,94	1	215,18	
V	»	9 30″	1188	9,39	0,58	3,88	1	306,18	nach 18 Tagen Minderausscheidung von 30 % CO_2

Haueter I	Treten	10	1500	21,71	1,35	8,21	1	182,70	
II	»	10	1500	19,54	1,35	6,04	1	248,34	nach 2 Tagen
III	»	10	2250	22,47	1,35	8,95	1	253,74	» 10 »
IV	»	10	2250	22,92	1,35	9,42	1	238,85	» 12 »
V	»	10	2250	24,17	1,35	10,67	1	210,87	» 14 »
VI	»	10	2250	23,41	1,35	9,91	1	227,04	» 15 »
VII	»	10	2250	23,39	1,35	9,89	1	227,50	» 21 »
VIII	»	10	2250	19,76	1,29	6,86	1	327,81	» Steigübung. (1Woche lang)
IX	»	10	2250	13,30	0,82	5,10	1	441,17	» vollständiger Wiederherstellung der Kräfte (2½ Monate später)
Hochstrasser I	»	10	2250	19,79	1,006	9,73	1	231,24	ungeübt
II	»	10	2250	19,79	1,006	9,73	1	231,24	nach 2 Tagen
III	»	10	2250	17,92	1,006	7,86	1	286,25	» 4 »

Vergleiche der Arbeitsausscheidungen zwischen Gruber und meinen Versuchspersonen anzustellen, ist wohl nicht zulässig, wegen der verschiedenen Arbeitsarten. Die Leistungen von Gruber und Egger sind indessen gut vergleichbar, indem beide, Treppen ersteigend, ihr Körpergewicht auf eine bestimmte Höhe hoben. Pro 100 kgm Arbeit findet man bei Gruber 0,527—0,382 g CO_2, bei Egger 0,455—0,342, Jenni 0,458—0,400, Schneider 0,408 bis 0,347—0,283 und bei starker Belastung 0,327—0,297—0,245 g CO_2. Haueter 0,547—0,236, Hochstrasser 0,432—0,349 g CO_2.

Meine Versuche an Reconvalescenten gestatten, wie ich glaube, den sicheren Schluss, dass die Erholung nach schwächenden Krankheiten ähnlichen Effect hat, wie die Trainirung bei Gesunden.

Bei den Reconvalescenten zeigte sich die Stoffersparniss auch bei der auf die Einheit des Körpergewichtes berechneten Ruheausscheidung, während die Uebung beim Gesunden die in der Ruhe ausgeathmete Kohlensäure nicht verminderte. Diese Thatsache ist dadurch zu erklären, dass beim noch erschöpften Reconvalescenten auch diejenigen Bewegungen der Organe, welche den vegetativen Functionen dienen (wie Athmung und Herzschlag) angestrengt arbeiten und erst mit der Kräftigung des Reconvalescenten mühelos fungiren, wie bei normalen Individuen, deren beständig thätige Muskeln immer trainirt sind.

Aus den im Laufe dieser Arbeit beschriebenen Versuchen kann man folgende Schlüsse ziehen:

1. Der durch Kohlensäureausscheidung gemessene Stoffumsatz wird während der Arbeit vermehrt, aber dieser Zuwachs wird durch Uebung vermindert.

2. Im gleichen Sinne wie die Uebung wirkt die allgemeine Stärkung. Hierdurch ist bewiesen, dass nicht allein deshalb sparsamer gearbeitet wird, weil der Geübte Mitbewegungen ausschliesst, sondern dass **die Grösse der Anstrengung, nicht aber die Grösse der Leistung, den Stoffumsatz bedingt.**

3. Beim normalen Individuum sind die unwillkürlich thätigen Muskeln stets im Zustande der Trainirung, beim geschwächten

Reconvalescenten arbeiten auch diese mit abnormer Anstrengung, selbst während der sogenannten Ruhe.

Es bleibt mir die angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. Kronecker für die Unterstützung durch Rath und That, welche er mir bei der Anfertigung dieser Arbeit so reichlich gewährt hat, auf das Wärmste zu danken.